

PROPELLER SHAFT AND ITS MANUFACTURING METHOD

Patent Number: JP2000283140
Publication date: 2000-10-13
Inventor(s): NAKAJIMA TATSUO;; WATANABE YUKIHIRO;; YOSHIDA KAZUHIKO;;
KODAMA HITOSHI;; TAKANO TSUNEO
Applicant(s): NTN CORP;; MITSUBISHI RAYON CO LTD
Requested
Patent: JP2000283140
Application
Number: JP20000002338 20000111
Priority Number
(s):
IPC
Classification: F16C3/02; B60K17/22
EC Classification:
Equivalents:

Abstract

PROBLEM TO BE SOLVED: To lighten a propeller shaft for motive power transmission to be used mainly for an automobile, etc., and to simultaneously control flexural or torsional rigidity.
SOLUTION: A fiber reinforced resin layer 5 in thickness to be flexural rigidity to satisfy the critical number of revolution to be demanded is formed on an outer periphery of a metallic pipe 1 to satisfy static torsional strength to be demanded for a propeller shaft and an interfacial strength characteristic of the fiber reinforced resin layer is made in a range of 20-200 MPa under a microdroplet method in the propeller shaft constituted by connecting a coupler element 3 to the metallic pipe 1.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2000-283140
(P2000-283140A)

(43) 公開日 平成12年10月13日 (2000. 10. 13)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	キーワード (参考)
F 1 6 C 3/02		F 1 6 C 3/02	3 D 0 4 2
B 6 0 K 17/22		B 6 0 K 17/22	Z 3 J 0 3 3

審査請求 未請求 請求項の数12 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2000-2338 (P2000-2338)
(22) 出願日 平成12年1月11日 (2000. 1. 11)
(31) 優先権主張番号 特願平11-20548
(32) 優先日 平成11年1月28日 (1999. 1. 28)
(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000102692
エヌティエヌ株式会社
大阪府大阪市西区京町堀1丁目3番17号
(71) 出願人 000006035
三菱レイヨン株式会社
東京都港区港南一丁目6番41号
(72) 発明者 中島 達雄
静岡県磐田市東貝塚1578番地 エヌティエ
ヌ株式会社内
(74) 代理人 100064584
弁理士 江原 省吾 (外3名)

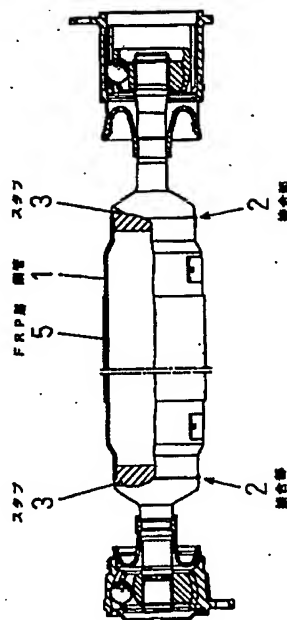
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プロペラシャフト及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 主に自動車用などに使用される動力伝達用プロペラシャフトの軽量化と同時に曲げまたはねじり剛性の制御。

【解決手段】 金属パイプ1に継手要素3を接合してなるプロペラシャフトにおいて、プロペラシャフトに要求される静ねじり強度を満足する金属パイプ1の外周に、要求される危険回転数を満足する曲げ剛性になる厚みの繊維強化樹脂層5を形成させ、かつ、繊維強化樹脂層5の界面強度特性をマイクロドロップレット法で20~200MPaの範囲とする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 金属パイプに継手要素を接合してなるプロペラシャフトにおいて、金属パイプの外周に繊維強化樹脂を巻き付けて繊維強化樹脂層を形成し、前記繊維強化樹脂層の強化繊維とマトリクス樹脂の界面強度特性をマイクロドロプレット法で20～200MPaの範囲としたことを特徴とするプロペラシャフト。

【請求項2】 金属パイプの静ねじり強度が100kgf・m以上であり、プロペラシャフトのモーダル解析における曲げ一次の危険回転数が4000rpm以上であることを特徴とする請求項1に記載のプロペラシャフト。

【請求項3】 金属パイプの長さをPL、軸方向の繊維強化樹脂層の長さをFLとしたとき、FL/PLの値が0.1以上1.0以下であることを特徴とする請求項1に記載のプロペラシャフト。

【請求項4】 金属パイプの肉厚を t_1 、繊維強化樹脂層の肉厚を t_2 としたとき、 t_2/t_1 の値が0.01以上1.0以下であることを特徴とする請求項1に記載のプロペラシャフト。

【請求項5】 繊維強化樹脂の強化繊維の引張り弾性率が20000kgf/mm²以上であることを特徴とする請求項1に記載のプロペラシャフト。

【請求項6】 繊維強化樹脂の強化繊維が線径1μm以上20μm以下のPAN系炭素繊維であることを特徴とする請求項1に記載のプロペラシャフト。

【請求項7】 繊維強化樹脂層のTMA法によるシャフト周方向線膨張率が1～29mm/mm/℃の範囲であることを特徴とする請求項1に記載のプロペラシャフト。

【請求項8】 繊維強化樹脂層が、金属パイプの軸方向に対する繊維配向角度に関して0°層と90°層の2層からなり、90°層の比率が1～20%の範囲であることを特徴とする請求項1に記載のプロペラシャフト。

【請求項9】 繊維強化樹脂層が1層で形成され、かつ、金属パイプの軸方向に対する繊維配向角度が±5～30°の範囲であることを特徴とする請求項1に記載のプロペラシャフト。

【請求項10】 最外層に熱収縮フィルムまたはテープが存在することを特徴とする請求項1ないし9のいずれかに記載のプロペラシャフト。

【請求項11】 外表面に塗装処理を施したことを特徴とする請求項1ないし10のいずれかに記載のプロペラシャフト。

【請求項12】 プロペラシャフトに要求される静ねじり強度を満足する金属パイプの外周に、要求される危険回転数を満足する曲げ剛性になる厚みの繊維強化樹脂層を形成させることを特徴とする請求項1～11のいずれかに記載のプロペラシャフトの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、自動車等の駆動力伝達軸として使用されるプロペラシャフト（推進軸）及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来技術】自動車のプロペラシャフトは、変速機から減速歯車装置に動力を伝達する推進軸であり、その両端部にはジョイント（継手）を具備し、変速機と減速歯車装置との相対位置の変化に起因する長さや角度の変動に対応できる構造を有する。従来、プロペラシャフトを構成するジョイントおよびそのジョイント間の中間軸には鋼製のものを使用するのが一般的であった。

【0003】プロペラシャフトは、前述のように鋼製であるに加えて、曲げ剛性の観点から長軸になると分割して構成し、その中間部をサポートする軸受などが必要になることから、重量およびコスト等の面から改善が要求されている。そこで、これらの改善要求にこたえるべく、繊維強化樹脂（以下、FRPと称す）の採用が提案された（たとえば、特開昭53-71422号公報、特開昭55-118831号公報、特開昭63-199914号公報参照）。つまり、曲げ剛性の強いFRP製の中空シャフトを金属製シャフトの外周に形成することで長軸化が図れるため、分割が不要になって中間部をサポート軸受も不要になり、軽量化と低コスト化が期待できる、というものである。

【0004】比強度の高いFRPのみで形成されたパイプを採用する例も提案されているが、その継手部分は剛性・強度の点からFRPで一体成形するのは無理であり、通常、金属製の継手をFRPの端部に接合している。その接合方法としては、FRP製パイプの端部に金属製継手のスリーブを圧入したり、接着剤で接合するか、FRP製パイプに金属製継手を挿入した後、樹脂を含浸させた連続繊維で継手とともFRP製パイプを巻装するという方法や（特開昭55-118831号公報）、金属製継手の嵌着部分を非円形とするとともに、プロペラシャフトの端部をガラス転移点以上に加熱して継手の嵌着部分上加締める方法（特開昭63-199914号公報）などが提案されている。

【0005】他の接合法として、接合部の強度を確保してトルク伝達を実現するために軸端部の断面形状を多角形にしたり、中空シャフトの軸端部が重合する部分での接合面をローレット加工等によって粗面化したり、FRP製の中空シャフトを加締めたり、さらに、中空シャフトの軸芯部へ金属部品を圧入したりすることで接合していた。また、FRP製中空シャフト軸端部と金属部品の接触界面に接着剤を介在させて接合する場合、粗面化、加締め、もしくは圧入などの加工と接着剤を併用したりして接合部の強度保持の様々な工夫がなされていた。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかし、これらの従来

の接合方法では軸端部の加工方法が困難になったり、接合部の強度を確保するために外径を太くしないといけなかったり、また、軸方向の抜け止め対策も信頼性確保のために別に施さないといけない等の成形上の問題があった。

【0007】FRP製の中空シャフトを加締めたり、中空シャフトの軸芯部への金属部品を圧入したりする方法では、FRP部のクリープや応力緩和によって圧入緊縛力の低下があるために、周方向にすべりを生じたり、軸方向に抜け出ししたりすることがあり、製品機能上での長期の信頼性に欠けるなどの重大な短所があった。

【0008】また、接合部をみたとき、FRPと金属部品の接触面積だけで、圧入時に生じる緊縛力を抗力にする摩擦力や、接触界面に介在する接着剤による化学的および物理的接着によってトルク伝達が行われている。この場合、衝撃的に生ずる過大なトルクに対応しようとすると、圧入量を深くして接触界面の面積をなるべく大きくしたり、FRPの圧入による弾性変形量を大きくしたりするが、製造加工時にFRP部にクラックを生じたり、使用時のクリープや応力緩和が避けられないため接合上の問題が生じていた。

【0009】一方、動力伝達軸であるプロペラシャフトの中間軸に、軽量化、低燃費化、低コスト化、振動・騒音特性の向上等を図るためにFRP製の中空シャフトを使用する場合、自動車内でのスペース上の制約から中空シャフトの外径を細くしなければならないといった要請もある。

【0010】本発明の目的は、前述した改善要求にこたえるべく、接合の信頼性が高く、高剛性すなわち曲げの共振周波数の高い、軽量で低コストなプロペラシャフトを提供することにある。

【0011】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するための技術的手段として本発明は、金属パイプに継手要素を接合してなるプロペラシャフトにおいて、金属パイプの外周に繊維強化樹脂を巻き付けて繊維強化樹脂層を形成し、前記繊維強化樹脂層の強化繊維とマトリクス樹脂の界面強度特性をマイクロドロップレット法で20～200MPaの範囲としたことを特徴とする（請求項1）。金属パイプの外周にFRP製パイプを貼り合わせて複合中空シャフトとすることで、シャフト端部の接合に関わる部位がFRP単体でないため、たとえ大きなせん断が生じても十分な耐久強度をもって力を伝えることができる。つまり、金属パイプと金属継手部品との溶接または摩擦圧接のような信頼性のある完全な接合法が可能となるため、周方向のすべりや軸方向の抜け出しといった不具合は全く生じず、接合部の長期の信頼性を得ることができる。

【0012】また、特開昭53-71422号公報に記載されているように、材料上、金属パイプとFRP製パイプを併用するだけでは、複合中空シャフト部が周方向トルク負荷に伴う変形時においてFRP層内部の強化繊維とマトリクス樹脂界面で界面剥離を生じる不具合があり、実用上、車両等に搭載するプロペラシャフトの中間軸に適用できなかった。この問題を解決するために鋭意研究した結果、FRP材の強化繊維とマトリクス樹脂の界面強度特性がマイクロドロップレット法で20MPa以上200MPa以下の範囲であれば車両等に搭載するプロペラシャフトの中間軸として好都合であることを見出したものである。界面強度が20MPaより小さいと、複合中空シャフト部が通常車両等に作用する30kgf・m程度の周方向トルク負荷に伴う変形時においてFRP層内部の強化繊維とマトリクス樹脂界面で界面剥離を生じる。つまり、通常車両等のように繰返しトルクが負荷されながら使用される場合、金属パイプとFRP層で構成される複合中空シャフト部の所期の剛性を維持できない。また、界面強度を200MPaより大きくしようとすると、繊維表面の特殊な表面処理と特殊なマトリクス樹脂を組み合わせなければならず、製造上困難なものとなる。マイクロドロップレット法の測定法を図4に示す。マイクロドロップレット法による測定は、たとえば、東栄産業株式会社製の複合材界面特性評価装置HM-410型で測定される。

【0013】金属パイプとFRP層で構成される複合中空シャフト部の内径と肉厚は、プロペラシャフトに要求される危険回転数で決められる。つまり、金属パイプのみで要求される危険回転数を満足しようとすると、大径になり、かつ、重量は重い。これに対し、予め用意される金属パイプの内径、肉厚および長さをプロペラシャフトに要求される静ねじり強度のみを満足するように設計しておき、この金属パイプの外周部に要求される危険回転数を満足する曲げ剛性になる厚みまで比弾性率の大きいFRP層を巻き付けることによってプロペラシャフトを製造すれば（請求項10）、最外径寸法は小さくなり、かつ、軽量化できる。たとえば、金属パイプの静ねじり強度を100kgf・m以上とし、プロペラシャフトのモーダル解析における曲げ一次の危険回転数を4000rpm以上とする（請求項2）。

【0014】金属パイプ上に巻き付けられた軸方向のFRP層の長さは、金属パイプの長さをPL、軸方向のFRP層の長さをFLとしたとき、 FL/PL の値が、0.1以上1.0以下がよい（請求項3）。 FL/PL の値が0.1より小さい場合、たとえ比弾性率の大きいFRP層を巻き付けても要求される危険回転数を満足する曲げ剛性にすることは困難である。 FL/PL の値が1.0より大きい場合、曲げ剛性の向上を期待するFRP層が金属パイプより長くなる、すなわち、金属パイプの曲げ剛性の向上に対し無駄なFRP層を形成することになり、好ましくない。ここで、金属パイプはプロペラシャフトの中間軸を構成するため、長さは10mm以上

3000mm以下がよいが、望ましくは100mm以上3000mm以下がよい。長さが10mmより短いと、金属パイプ上に0°層を構成するプリアレグがうまく巻き付かない等の不具合があり、3000mmより長いと、たとえトラック自動車等に使用する場合でも車両への組付け施工が困難になる。

【0015】金属パイプの外径は、10mm以上250mm以下がよいが、望ましくは15mm以上230mm以下、さらに望ましくは20mm以上200mm以下がよい。外径が10mmより小さいと、たとえ外周部にFRP層を形成しても乗用車に使用するプロペラシャフトとして伝達トルクが満足できず、250mmより大きいと車両内で他の部品との干渉などスペース上の問題が生じる。

【0016】金属パイプの肉厚は、1mm以上10mm以下がよい。金属パイプの肉厚が1mmより薄いと、金属パイプの運搬時やFRP層の成形時に金属パイプを破損する虞がある。また、金属パイプの内径、肉厚を車両用プロペラシャフトに要求される静ねじり強度のみを満足するように設計することが困難になり、たとえ設計できても管径が大きくなる。金属パイプの肉厚が10mmより大きい場合、乗用車に使用するプロペラシャフトとして重すぎて軽量化の目的を達成することはできない。

【0017】また、金属パイプの肉厚を t_1 、FRP層の肉厚を t_2 としたとき、 t_2/t_1 の値は0.01以上10以下が好適である（請求項4）。 t_2/t_1 の値が0.01より小さい場合、たとえ比弾性率の大きいFRP層を巻き付けても要求される危険回転数を満足する曲げ剛性にすることは困難である。 t_2/t_1 の値が10より大きい場合、FRP層を巻き付けにより曲げ剛性の向上を期待できるものの製造加工時にマトリクス熱硬化樹脂の硬化時間が長くなり、製造コストが多くなり、また、量産性の面などで問題が生じる。

【0018】金属パイプの外周部に積層を構成するFRPの繊維配向角を金属パイプの軸方向に対し0°、90°、±45°、または、これらの組み合わせとすることにより、曲げ剛性やねじり剛性の制御および径方向の変形（座屈）を抑制できる点が望ましい。このとき、プロペラシャフトに作用する回転数やトルクに応じ、適宜おののFRP層を組み合わせることで曲げおよびねじりの剛性を制御することもできる。繊維に熱硬化性樹脂を含浸させた半硬化状態のシート状プリアレグを使用して、糸の配列を一方向に一定に保ちながら安定して積層加工を行い、また、任意の繊維配向角で巻き付けることも可能である。プリアレグを巻き付けて積層され、その後加熱硬化させて得られるFRP層の厚みまたは金属パイプとFRP層の肉厚比、FRP層の幅、使用するプリアレグの弾性率（繊維種や繊維含有量、プリアレグ厚み）で軸の曲げおよびねじり剛性および耐座屈性を制御してもよい。

【0019】外周部に巻き付けるプリアレグの厚みは5μm以上600μm以下が好適である。プリアレグの厚みが5μmより薄い場合、巻き付け加工時に皺を生じやすく、硬化後の複合中空シャフトにトルクが負荷されたとき、この皺部がクラックの起点となることがある。また、プリアレグの厚みが600μmより厚い場合、その厚みのために捲きににくく、たとえ巻けたとしても、硬化後、複合中空シャフトの外観上、比較的大きな段差を生じる。プロペラシャフトの中間軸に使用する場合、この段差のためにバランス取りが困難になることがある。

【0020】積層部を構成する繊維は、プロペラシャフトの危険回転数を高めるために密度が小さく弾性率の高い材料が望ましい。このような繊維として、PAN系およびビッチ系炭素繊維、炭化けい素繊維、アルミナ繊維、ボロン繊維、ガラス繊維、ポリアミド（たとえばデュボン社製ケブラー）繊維、金属（銅、アルミ合金、チタン合金、銅、タングステン）繊維等が挙げられる。強化繊維の引張り弾性率は、20000kgf/m²（196GPa）以上がよく（請求項5）、さらに望ましくは25000kgf/m²（245GPa）以上である。20000kgf/m²（196GPa）未満では、FRPの繊維配向角をどのように構成してもプロペラシャフトの危険回転数を高くすることができない。

【0021】PAN系炭素繊維を使用する場合、その線径は、1μm以上20μm以下（請求項6）、望ましくは5μm以上8μm以下がよい。PAN系炭素繊維の線径が1μm未満の場合、原料となるアクリル繊維のコストが高く、かつ、焼成して炭素繊維に加工するときの制御が難しくなり、繊維の価格が高くなって低コストなシャフトを成立させることができない。また、PAN系炭素繊維の線径が20μmを越えるとシートラップ法で使用するプリアレグを製造することができない。

【0022】また、さらなる低コスト化のために、異種の繊維を2種以上組み合わせて用いてもよい。比弾性率が大きい繊維が軽量化の効果が大きく、プロペラシャフトへの使用は好ましい。つまり、比強度の面ではPAN系炭素繊維が、比弾性率の面ではビッチ系炭素繊維が好適である。しかし、コスト低減の観点からこれらの炭素繊維どうし、もしくはこれらの炭素繊維とガラス繊維のハイブリッドで用いることも可能である。

【0023】これらの繊維は、トウ状であってもプリアレグ状であってもよいが、トウ状の場合、未硬化のマトリクス樹脂に含浸しながらフィラメントワインディング法または引抜き法により薄肉太径に成形される。プリアレグ状の場合、シートラップ（筒巻）法により薄肉太径に成形される。シートラップ法による場合、テーブルローリングを用いて増し締めを行うテーブルローリングシートラップ装置や心棒をローラー上に設置して心棒にプリアレグを巻き付けるローラー型シートラップ装置を用

いてもよい。また、形状と量産性により引抜き成形などの成形法も採用することができる。また、これらの成形法を2種以上組み合わせる成形してもよい。

【0024】FRPの繊維配向角を軸方向に対し 0° 、 90° および $\pm 45^\circ$ のFRP層の組合せで積層しようとする、プリプレグを使用したシートラップ法が適しており、フィラメントワインディング法では 0° の繊維配向角を有する層を形成することは比較的困難である。また、引抜き成形では 90° の繊維配向角を有する層を形成することは比較的困難である。シートラップ法で用いるプリプレグを構成する繊維シートは、一方向以外にあらかじめ直交して織り込んだ状態のクロスを用いてもよい。

【0025】マトリクスとして含浸する熱硬化性樹脂は、特に制限されるものではない。一般に、熱硬化性を示すエポキシ樹脂、フェノール樹脂、不飽和ポリエステル樹脂、ビニルエステル樹脂、ウレタン樹脂、アルキッド樹脂、キシレン樹脂、メラミン樹脂、フラン樹脂、シリコン樹脂、ポリイミド樹脂等が使用できるが、強度面からエポキシ樹脂が好適である。マトリクスにエポキシ樹脂を用いる場合、エポキシ硬化後の耐熱性はガラス転移点で 60° 以上がよいが、さらに望ましくは 80° 以上がよい。自動車の動力伝達軸として使用されるプロペラシャフトの雰囲気温度は 60° 程度になるため、エポキシ硬化後の耐熱性が 60° 未満では破損などの重大な問題を起こすことがあり、マトリクスに使用できない。

【0026】また、エポキシ樹脂中にゴム粒子を介在させ海島構造を形成して耐衝撃性を付与した改質エポキシ樹脂や、主鎖または側鎖を化学構造的に変成した変成エポキシ樹脂を用いることもできる。その場合、得られたプロペラシャフト構造体に減衰性を付与することができる。また、エポキシ樹脂中に導電性のカーボンブラックのような充填材や金属粉を分散させて導電性を付与したエポキシ樹脂を用いることもできる。

【0027】さらに、含浸する繊維表面をオゾン酸化処理や紫外線の照射で表面活性化したり、シランカップリング剤またはチタンカップリング剤等で湿式処理を行って親和性を向上させたり、反応性の高い官能基サイトを繊維表面に形成し、熱硬化性マトリクス樹脂との硬化後化学結合を有する強固な接着を付与することで、マトリクスと繊維間の界面強度を向上させることもできる。

【0028】また、たとえば特開昭55-15801号公報にはアルミ管に炭素繊維プリプレグとガラス繊維布を巻き付けて硬化成形する例が記載されているが、この場合、金属管との一体化のためには必ず構造用金属接着層が必要になる。本発明のように、FRP層は周方向の線膨張率を金属製の管以下として常用時に締まる方向であれば構造用金属接着層が不要になるため一体化にさらに好都合である。また、このとき同時に過度な締付け力によるFRP層の破壊を防ぐために周方向層の強度以内

である必要がある。この点についてさらに鋭意研究したところ、金属管に鋼管を使用した場合、FRP層のシャフト周方向線膨張率においてサーマルメカニカルアナライザ(TMA)法による数値が $1\text{mm/mm}/^\circ\text{C}$ 以上、 $11\text{mm/mm}/^\circ\text{C}$ 以下の範囲が好適であることを見出した(請求項7)。つまり、シャフト周方向線膨張率の値が $1\text{mm/mm}/^\circ\text{C}$ より小さいとプロペラシャフトとして使用される環境下での温度変化で鋼管との相対的な周方向線膨張率差により過度な締付け力が生じるためFRP層の破壊が生起する。また、 $11\text{mm/mm}/^\circ\text{C}$ より大きいと、プロペラシャフトとして使用される環境下での温度変化での鋼管との相対的な周方向線膨張率差により、鋼管とFRP層の界面内で部分的に剥離を生ずる場合がある。

【0029】TMA法による測定は、たとえば、デュボン社製メカニカルサーマルアナライザ943型で測定される。

【0030】また、金属パイプにアルミ管を使用した場合、FRP層のシャフト周方向線膨張率においてTMA法による数値が $1\text{mm/mm}/^\circ\text{C}$ 以上、 $29\text{mm/mm}/^\circ\text{C}$ 以下の範囲が好適であることを見出した(請求項7)。つまり、シャフト周方向線膨張率の値が $1\text{mm/mm}/^\circ\text{C}$ より小さいとプロペラシャフトとして使用される環境下での温度変化でアルミ管との相対的な周方向線膨張率差により過度な締付け力が生じるためFRP層の破壊が生起する。また、 $29\text{mm/mm}/^\circ\text{C}$ より大きいと、プロペラシャフトとして使用される環境下での温度変化で相対的な周方向線膨張率差により、アルミ管とFRP層の界面内で部分的に剥離を生ずる場合がある。

【0031】なお、これらの場合、FRP層の強化繊維がPAN系もしくはビッチ系炭素繊維、ガラス繊維、炭化けい素繊維、アルミナ繊維、ボロン繊維、パラ系アラミド(たとえばデュボン社製ケブラー)繊維、金属(銅、アルミ合金、チタン合金、銅、タングステン)繊維等の単体であっても、これらの2種以上組み合わせられたものであってもFRP層と金属管の一体化が可能となることは言うまでもない。

【0032】また、文献: Durk Hyun Cho and Dai Gil Lee, Composite Structures, Vol.38, No. 1-4, pp. 309-319, 1997 (Elsevier Science Ltd.)に記載されるように、アルミ管に炭素繊維プリプレグを巻き付けて硬化処理を行う時、冷却時にアルミ管と炭素繊維プリプレグの熱膨張係数の差のために硬化後の炭素繊維層中に軸方向で圧縮応力が残留し、実用上問題となることがある。同文献では、この問題解決に炭素繊維プリプレグを巻き付ける前に、治具を使用して予めアルミ管を軸方向に圧縮しておき、冷却後治具をはずした時の圧縮方向の弾性変形の戻り量と熱収縮による軸方向の寸法変化量が相殺されることで硬化後の炭素繊維中に生ずる圧縮応力の残留を緩和する手法が報告されている。本発明におい

ては、硬化処理後のFRP層中の軸方向の残留応力の緩和のための、FRP材の積層構成において、金属パイプの軸方向に対して 0° 層と 90° 層の2層構造からなり、周方向層(90° 層)の比率が1%以上20%以下の範囲が好適であることを見出した(請求項8)。周方向層(90° 層)の比率が1%より小さい場合、シャフト周方向線膨張率の値を $11\text{ mm/mm/}^\circ\text{C}$ 以下に抑えることができない。また、周方向層(90° 層)の比率が20%より大きい場合、 0° 層と 90° 層の2層構造からなるFRP材の繊維構成において曲げ剛性を付与するために積層部の膜厚が厚くなり、経済性および軽量化の観点から合理性を欠くことになる。

【0033】また、FRP層を1層で形成する場合は金属パイプの軸方向に対して繊維配向角度が $+5^\circ$ 以上 $+30^\circ$ 以下または -30° 以上 -5° 以下の範囲であれば本発明を合理的に実施することができる(請求項9)。つまり、金属パイプの軸方向に対して繊維配向角度が $\pm 5^\circ$ 以上ではシャフト周方向線膨張率の値を $11\text{ mm/mm/}^\circ\text{C}$ 以下に抑えることができず、かつ、成形加工時においてFRP材の積層部で軸方向の残留応力のために亀裂を生じやすい。また、繊維配向角度が $\pm 30^\circ$ より大きい場合、金属パイプとFRP層で構成される複合中空シャフト部において所期の剛性を成立させようとすると、FRP層部の膜厚が厚くなり経済性および軽量化の観点から合理性を欠くことになる。なお、FRP層部のシャフト周方向線膨張率の値が $11\text{ mm/mm/}^\circ\text{C}$ 以下であれば鋼管はもちろんアルミ管でもFRP層との界面で剥離などの不具合を生起しないことは言うまでもない。

【0034】このようなFRP材の繊維構造は、たとえばシートラップ法で成形する場合、予め所定形状に裁断された複数のアブリレグシートを、巻き付け硬化後計画された繊維配向角度の層が積層構造中に形成されるようにシリーズに並べてシートラップすることで成形することができる。また、フィラメントワインディング法や引抜き法の場合、巻き付け硬化後計画された繊維配向角度の層が積層構造中に形成されるようにシリーズに未硬化のマトリクス樹脂に含浸したトウを巻き付け硬化成形することができる。また、シートラップ法、フィラメントワインディング法および引抜き法を適宜組み合わせることで成形することも可能である。

【0035】アブリレグを巻き付ける金属パイプの金属種は、穴あけ加工等の機械加工または溶接加工または摩擦圧接加工または圧入加工ができる金属であれば特に制限されないが、好ましいものとして、鉄、アルミ、銅、チタン、タングステン、ニッケルなどが挙げられる。また、これらのいずれの金属の合金でもよい。

【0036】あらかじめ金属パイプの両端に金属製の継手要素をピン止め、溶接加工、摩擦圧接加工または圧入加工などの方法により接合しておき、これをマンドレル

としてシートラップ法によりアブリレグを巻き付けて成形することができる。この場合、フィラメントワインディング法を用いても成形することができる。逆に、あらかじめ金属パイプ上にシートラップ法によりアブリレグを巻き付けて成形しておき、その後金属製の継手要素をピン止め、溶接加工、摩擦圧接加工または圧入加工などの方法により接合して中間軸部を製作してもよい。また、あらかじめ継手要素のスタブ(ヨーク)部のセレーション側を金属で製作し、中空シャフトとの接合側をアルミ製とするために摩擦圧接でスタブを製作しておき、アルミ製の中空シャフトとスタブのアルミ側を溶接してより軽量な中間軸部を製作してもよい。

【0037】本発明のプロペラシャフトの製造方法は、請求項12に記載のように、プロペラシャフトに要求される静ねじり強度を満足する金属パイプの外周に、要求される危険回転数を満足する曲げ剛性になる厚みの繊維強化樹脂層を形成させることを特徴とする。より具体的には、金属パイプをマンドレルとして用い、サンディング・脱脂後、外周部に繊維強化樹脂層を形成させ、その上からシュリンクテープ(熱収縮フィルムまたはテープ)を巻き付けて仮止めを行い、加熱硬化処理を施して複合中空シャフトを得る。シュリンクテープを剥がしてから使用してもよいし、そのまま最外層に残してもよい(請求項10)。また、シュリンクテープの有無に拘らず、外表面に塗装処理を施してもよい(請求項11)。

【0038】

【発明の実施の形態】以下に本発明の実施の形態を図面に示す実施例に従って詳細に説明するが、本発明はこれらの実施例に何ら限定されるものではない。

【0039】図1は、両端にジョイントを取り付けた状態の自動車のプロペラシャフトを例示したもので、FRP層を符号5で指してある。図2は芯材となる金属製中空シャフトを示す。これは、図示するように両端を絞った鋼管(STKM13B材)(1)の両端に、金属製の継手要素ここではスタブ(3)を接合部(2)にて溶接したものである。この場合の金属製中空シャフトの寸法諸元は次のとおりである。

【0040】

全長: $PL=1600\text{ mm}$

FRP巻付け部の幅: $FL=1240\text{ mm}$ (図3参照)

肉厚: $t_1=1.6\text{ mm}$

外径: $d=65\text{ mm}$

まず、金属製中空シャフトについて静ねじり試験機による強度測定を行った。合格水準は静ねじり強度で $100\text{ kgf}\cdot\text{m}$ 以上とした。用いた静ねじり試験機は、株式会社東京衡機製造所製静ねじり試験機RTE-1000である。その後、この金属製中空シャフトをマンドレルとして用い、サンディング・脱脂後、図3に示すように、外周部にエポキシ樹脂マトリクスのPAN系炭素繊維アブリレグ(4)を予め2枚を重ねて所定の厚み(2

±0.1mm)までシートラップ法で巻き付けた。ここに、上記アブリレグは、厚み250μmの0°層アブリレグと、厚み5μmの90°層アブリレグであり、いずれも樹脂含有率35wt%、PAN系炭素繊維の弾性率26×103kg/mm²のパイロフィルアブリレグ(三菱レイヨン株式会社の登録商標)を使用した。炭素繊維の配向角は軸方向に対し0°および90°となるようにし、積層構造は0°/0°/[90°/0°]_n(nは所定厚みになるまでの巻数)とし、シャフト周方向における線膨張率がTMA法で1mm/mm/℃以上11mm/mm/℃以下の範囲となるようにした。そして、その上からシュリンクテープ(熱収縮フィルムまたはテープ)を巻き付けて仮止めを行い、150℃で2時間の加熱硬化処理を施し、複合中空シャフト(図1参照)を得た。

【0041】得られた複合中空シャフトについて、亀裂の有無による外観評価、モーダル解析による曲げ一次の共振周波数測定を行った。合格水準は曲げの一次共振周波数の値で83.3Hz以上(=危険回転数で4000rpm以上)とした。

【0042】表1は、金属管の諸元(金属管の材質、管径、肉厚)およびFRP層の諸元(肉厚、積層構成)を変えた実施例1~16のそれぞれについて、金属パイプの静ねじり強度および複合中空シャフトの危険回転数に関する試験結果を示している。試験結果は合格を○×で表わしてあるが、実施例1~16はすべて合格であった。いずれの供試体も亀裂など外観上の問題はなかった。

【0043】
【表1】

実施例 No		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
金属管の諸元	金属種	Fe										Al						
	外径(外観),mm	65		75		70		80	80	50.8	86		75		70		60	
	肉厚,mm	1.6				1.0				1.8		2.3	1.6	2.3	2.5	2.5		
繊維強化プラスチック層	肉厚,mm	2				1				3		1		2				
	積層構成	A	B	C	A	B	C	D	A	A	A	B	D	C	E	E	E	
		積層構成	A	B	C	A	B	C	D	A	A	A	B	D	C	E	E	E
金属製中間シャフトの静ねじり強度の合格:○、不合格:×		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
複合FRP中間シャフトの危険回転数の合格:○、不合格:×		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	

【0044】なお、表1において、「金属種」の欄のFeは具体的にはSTKM13B材を意味し、A1はAL6061材を意味する。FRP層の積層構成の欄のA~Fは次の内容を意味する。なお、nは所定厚みになるまでの繰返し数(=巻数)を意味する。

【0045】

- A: 管側より0°/0°/[90°/0°]_n
 B: 管側より[0°/90°/0°]_n
 C: 管側より[0°/G]_n
 D: 管側より[0°/CC]_n
 E: 1層構造で+30°層のみ
 F: 1層構造で0°層のみ(表2)

各層のアブリレグの詳細は次のとおりである。

【0046】

- 0°層: CFRPアブリレグ(厚み250μm)
 30°層: CFRPアブリレグ(厚み250μm)
 90°層: CFRPアブリレグ(厚み50μm)
 G層: ガラスクロスアブリレグ(厚み50μm)

CC層: CFRPクロスアブリレグ(厚み50μm)
 既述のとおり、実施例1~16はすべて、シュリンクテープを巻き付けて仮止めした状態で加熱硬化処理を施したものであるため、得られた複合中空シャフトの最外層には当該シュリンクテープが存在している。また、FRP層が防錆や耐腐食性の塗装被膜の役割を果たすため、表面塗装は施していない。しかしながら、シュリンクテープを剥がして使用することも勿論可能であり、シュリンクテープの有無に拘らず塗装を施すことも可能であることを明らかにするため追加の実施例を挙げるならば次のとおりである。

【0047】実施例4の複合FRP中間シャフトについてシュリンクテープを剥がして実施例17のシャフトとした。この実施例17につき危険回転数を調べたところ、合格水準の4000rpm以上であった。

【0048】実施例4の複合FRP中間シャフトについてシュリンクテープの上から水溶性塗料エマルター2000(アイシン化工株式会社製)を塗装し、実施例18

のシャフトとした。この実施例18につき危険回転数を調べたところ、合格水準の4000rpm以上であった。

【0049】実施例4の複合FRP中間シャフトについてシュリンクテープを剥がし、その後水溶性塗料エマルター2000（アイシン化工株式会社製）を塗装し、実施例19のシャフトとした。この実施例19につき危険回転数を調べたところ、合格水準の4000rpm以上であった。

【0050】次に、表2に比較例1～10についての試験結果を示す。比較例1、2、7、8は金属パイプのみで構成された金属性中空シャフトであり、比較例3～6、9、10は肉厚2mmのFRP層を備えた複合中空

シャフトである。後者のFRP層は0°層のみの1層構造で、いずれもシートラップ法により成形したものである。表2より明らかなように、比較例1～10についての試験結果はすべて不合格であった。すなわち、比較例1、7、8は静ねじり強度が不合格であった。比較例2は、複合中空シャフトについて設定した合格水準（曲げの1次共振周波数の値で83.3Hz）を満足しなかった。比較例3～6、9、10は、金属パイプの静ねじり強度に関しては合格したが、危険回転数の可否を判定するまでもなく、FRP層に成形後亀裂が発生した。

【0051】

【表2】

比較例 No		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
金属性 の 管	金属種	Fe						Al			
	管径(外径),mm	65			75			65		75	
	肉厚,mm	0.5	0.8	1.0	1.6			0.8	1.0	1.6	2.3
繊維強化 プラスチック層	肉厚,mm			2						2	
	積層構成	-	-	F						F	
金属製中間シャフトの 静ねじり強度の可否 合格：○、不合格：×		×	○	○	○	○	○	×	×	○	○
複合FRP中間シャフトの 危険回転数の可否 合格：○、不合格：×		-	×	-	-	-	-	-	-	-	-
強化繊維プラスチック層の外観				成形後亀裂発生	成形後亀裂発生	成形後亀裂発生	成形後亀裂発生			成形後亀裂発生	成形後亀裂発生

【0052】

【発明の効果】以上説明したところから明かなように、本発明のプロペラシャフトは、複合中空シャフトと継手要素との接合に、強固かつ長期の使用においても信頼性の高い溶接加工を利用できるため、自動車用等連ジョイントのシャフトとしても使用でき、かつ、自動車用途のみならず船舶用途、産業機械用途および航空機用途等の動力伝達用シャフトとして好適に用いることができる。

【0053】本発明のプロペラシャフトの製造方法によれば、車両用としてねじり強度および接合強度の信頼性を有し、軽量かつコンパクトなプロペラシャフトが得られることは言うまでもなく、また、芯材となる金属パイプがマンドレルとなるため成形後のマンドレル引抜き作業および金属継手要素との接合加工が不要となる。

【0054】さらに、通常FRPプリアレグを巻き付けて成形する場合、加熱硬化時のプリアレグ仮止めのために熱収縮フィルムまたはテープを最外層に巻き付け、硬化後、その熱収縮フィルムまたはテープを剥がして最終製品にする場合が多いが、本発明の適用においては、プロペラシャフトに対する飛び石の保護膜としての機能を果たすため、剥がさずに使用することもでき、その場合には加工工数が省け、かつ、材料の無駄がない。

【0055】また、鋼性パイプを用いる場合、防錆や耐飛び石性のために塗装が必要になるが、本発明の場合ではFRP層が防錆や耐腐食性の塗装被膜の役割を果たすため、成形後その部分の塗装を省略することも可能で、そうすることによって低コストに製造することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】ジョイントを取り付けた状態のアロペラシャフトの半断面図である。

【図2】金属製中空シャフトの半断面図である。

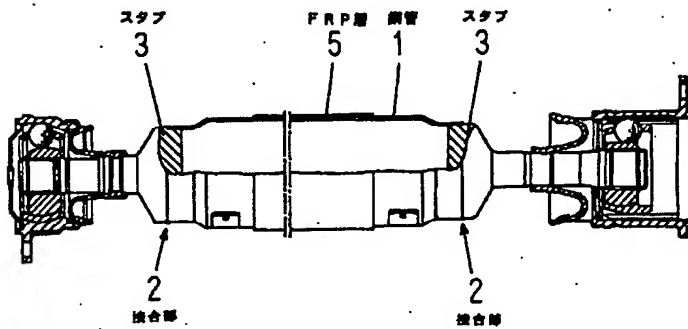
【図3】アリアレグの巻き付け過程を示す斜視図である。

【図4】マイクロドロプレット法の測定法を示す略図である。

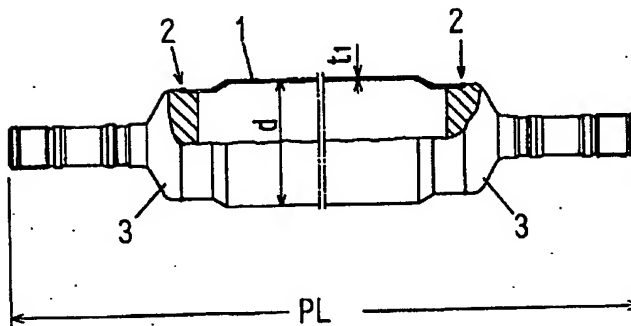
【符号の説明】

- 1 鋼管（金属パイプ）
- 2 接合部
- 3 スタブ（金属製継手要素）
- 4 アリアレグ
- 5 FRP層

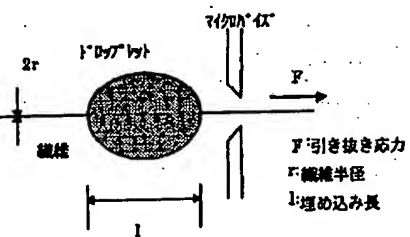
【図1】

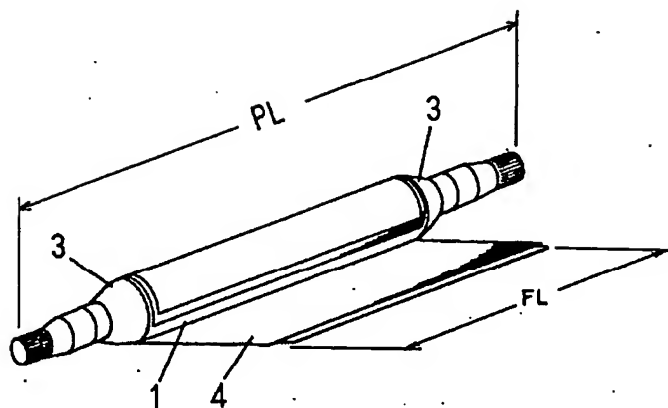


【図2】



【図4】





Fターム(参考) 3D042 AA06 AA07 AA08 AA10 AB01
DA05 DA08 DA09 DA14
3J033 AA01 AB01 AB02 AB03 AC01
BA03